

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

11.08.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 5 月 1 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 1 4 1 6 4 1
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 4 - 1 4 1 6 4 1]

出 願 人 松下電器産業株式会社
Applicant(s):

REC'D 30 SEP 2004

WIPO

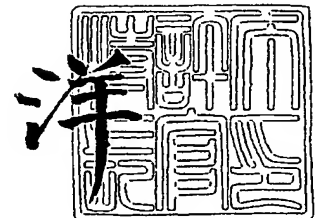
PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 9 月 1 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 2931050075
【提出日】 平成16年 5月11日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H03H 9/24
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 内藤 康幸
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 中西 淑人
【特許出願人】
 【識別番号】 000005821
 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100105050
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 鷺田 公一
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2003-292669
 【出願日】 平成15年 8月12日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 041243
 【納付金額】 16,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9700376

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

信号が入力されることにより物理変化する第 1 部材と、
前記第 1 部材から所定間隔空けて配置され、前記第 1 部材に所定の周波数の信号が入力されたときにのみ、前記第 1 部材の物理変化を検出する第 2 部材とを有することを特徴とする電気機械フィルタ。

【請求項 2】

前記第 1 部材および前記第 2 部材のうち、一方の部材は他方を覆う殻状の部材であることを特徴とする請求項 1 記載の電気機械フィルタ。

【請求項 3】

前記第 1 部材に接続され、当該第 1 部材に信号を入力することにより励振させる入力側電極と、

前記第 2 部材に接続され、当該第 2 部材が前記第 1 部材の励振を検出した際に、前記第 1 部材に入力された信号と同様の周波数の信号を出力する出力側電極と、

を更に有することを特徴とする請求項 1 記載の電気機械フィルタ。

【請求項 4】

前記第 1 部材および前記第 2 部材のうち少なくとも第 1 部材は、カーボンナノチューブやカーボンナノホーン、フラーレンを含む自己組織化により形成される物質により構成され、前記所定の間隔は少なくとも前記第 1 部材による自己組織化によって形成される微小ギャップであることを特徴とする請求項 1 記載の電気機械フィルタ。

【請求項 5】

前記第 1 部材および前記第 2 部材のうち少なくとも前記第 1 部材は、触媒材料により成長するように構成され、前記触媒材料を含む電極材料からなる電極部に接続されていることを特徴とする請求項 1 記載の電気機械フィルタ。

【請求項 6】

前記第 1 部材および前記第 2 部材は、カーボンナノチューブにイオンドーピングを施した物質および他原子分子を内包した物質を含む複合組成物質であることを特徴とする請求項 1 記載の電気機械フィルタ。

【請求項 7】

前記第 1 部材および前記第 2 部材は、微細加工技術を用い人工的に成形されることを特徴とする請求項 1 記載の電気機械フィルタ。

【請求項 8】

前記第 1 部材の物理変化は振動することであり、前記第 1 部材の振動検出は、前記第 1 部材に入力される信号を出力する電極に接続されたプローブを用いて、前記第 1 部材と前記電極との間に流れるトンネル電流を検出することにより行われることを特徴とする請求項 1 記載の電気機械フィルタ。

【請求項 9】

前記第 1 部材は物理変化として振動し、前記第 1 部材と前記第 2 部材との間の前記所定間隔を変化させ、前記第 1 部材の共振周波数を変化させる調整部を更に有することを特徴とする請求項 1 記載の電気機械フィルタ。

【書類名】明細書

【発明の名称】電気機械フィルタ

【技術分野】

【0001】

本発明は、微小な振動子を備える電気機械フィルタに関する。

【背景技術】

【0002】

無線端末などの端末の小型化が進む中、端末の筐体内に内蔵されるフィルタなどの受動部品の小型化が望まれている。近年、特に、無線通信でよく用いられているLCなどによる電氣的共振を利用したフィルタは、共振器サイズが電気長に依存するため、フィルタの小型化が難しいという問題があり、新たな信号選択の原理が模索されている。

【0003】

その中で、次世代フィルタの候補として、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)、NEMS (Nano Electoro Mechanical Systems) 技術により微小な電気機械フィルタが作製されている。

【0004】

この電気機械フィルタは、メカニカルな共振を利用し、その構成においては共振する振動子の質量とバネ定数に依存するため、電氣的共振を用いたフィルタよりもサイズを減少することができる。例えば、1GHz帯で共振する共振子のサイズは、形状、共振モードに依るが、数ミクロン以下の大きさとなる。また、このようにフィルタのサイズが数ミクロン以下の大きさとなることから、微小な振動子の製造方法および微小な振動を検出する方法も必要となる。

【0005】

従来の微小振動子を用いた電気機械フィルタとして、例えば、特許文献1に示すように、微小な振動子にカーボンナノチューブを用いたものがある。カーボンナノチューブは、炭素原子が網目の形で結びついて形成されたナノメートルサイズの非常に小さい筒状の物質である。

【0006】

この特許文献1における電気機械フィルタの信号選択の仕組みは、カーボンナノチューブやフラーレンが圧電材料であると仮定した場合を前提としている。詳細には、この従来の電気機械フィルタでは、所定長のカーボンナノチューブの両端部分にそれぞれ、入力信号ポートが接続された電極、出力信号ポートが接続された電極が2つずつ設けられ、これら電極が、カーボンナノチューブに信号を印加する入力端子、出力端子を形成している。

【0007】

そして、この電気機械フィルタでは、入力信号ポートより入力した信号により、カーボンナノチューブが圧電効果によりその自己共振周波数で振動し、圧電効果により出力信号ポートへ出力が電圧として取り出されるものとなっている。また、このような従来の微小な振動体の振動検出方法として、マグネットモータ、レーザードップラー干渉法などの方法が検討されている。

【特許文献1】特開平6-310976号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、現在のところ、特許文献1にみられるカーボンナノチューブやフラーレンについては、強誘電性絶縁体に見られる圧電効果の発現の報告はなく、むしろ非常に優れた導電性をもつことが報告されている。したがって、上記カーボンナノチューブやフラーレンの物性の仮定による特許文献1の技術は、その実現が難しいという問題がある。

【0009】

また、この電気機械フィルタにおいて、微小構造物である振動子の振動を検出方法として、マグネットモータの手法を用いた場合では、大きな外部磁場を発生させる装置が必

要となり、マイクロコイル作製プロセスや、スペースの確保などの問題がある。また、レーザードップラー干渉法を用いて従来の振動子の振動検出を行う場合には、対象となる振動子に焦点を当て、且つ十分な反射光を得るのは困難である。さらに、別の振動検出の方法として、微小な振動子の先端に、レーザー反射用の金属やシリコン (Si) 製のミラーを付け、構造物の振動を検出する方法も検討されているが、その方法では、ミラーも含めた構造物の振動を検出することとなり、微小な振動子自体の振動特性を検出するのは困難である。

【0010】

本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、導電性に優れたカーボンナノチューブなどの微小の振動子を用いることで全体を微小にすることができるとともに、所定の周波数の信号のみを選択することができる電気機械フィルタを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の電気機械フィルタは、信号が入力されることにより物理変化する第1部材と、前記第1部材から所定間隔空けて配置され、前記第1部材に所定の周波数の信号が入力されたときにのみ、前記第1部材の物理変化を検出する第2部材とを有する構成を採る。

【0012】

この構成によれば、第1部材に所定の周波数の信号が入力されたときにのみ、第2部材は第1部材の物理変化を検出するため、例えば、カーボンナノチューブ、フラーレンなどのように所定の周波数の信号が入力されることで物理変化する微小な部材を第1部材に用いることにより、全体を微小にすることができるとともに、第2部材により所定の周波数の信号のみを選択することができる。

【0013】

本発明の電気機械フィルタは、上記構成において、前記第1部材および前記第2部材のうち、一方の部材は他方を覆う殻状の部材である構成を採る。

【0014】

この構成によれば、第1部材および第2部材のうち、一方の部材は他方を覆う殻状の部材であるため、これら第1部材および第2部材は殻構造をなし、第1部材に第2部材が被さる分、占有スペースを小さくすることができ、電気機械フィルタ全体のスケールを更に小さくすることができる。

【0015】

本発明の電気機械フィルタは、上記構成において、前記第1部材に接続され、当該第1部材に信号を入力することにより励振させる入力側電極と、前記第2部材に接続され、当該第2部材が前記第1部材の励振を検出した際に、前記第1部材に入力された信号と同様の周波数の信号を出力する出力側電極と、を更に有する構成を採る。

【0016】

この構成によれば、入力側電極から第1部材に所定の周波数の信号が入力されたときのみ、第2部材が第1部材の物理変化としての励振を検出し、出力側電極は、第1部材に入力された信号と同様の周波数の信号を出力するため、所定の周波数のみを選択的に出力することができる。

【0017】

本発明の電気機械フィルタは、上記構成において、前記第1部材および第2部材のうち少なくとも第1部材は、カーボンナノチューブやカーボンナノホーン、フラーレンを含む自己組織化により形成される物質により構成され、前記所定の間隔は少なくとも前記第1部材による自己組織化によって形成される微小ギャップである構成を採る。

【0018】

この構成によれば、振動子となる第1部材が、少なくとも自己組織化により形成される物質により構成され、所定の間隔が自己組織化によって形成される微小ギャップであるため、所定の間隔を人工的に形成する必要が無く、第1部材および第2部材を所定間隔空けて配置する構成を容易に形成することができる。例えば、所定の間隔が、人工的に形成が

困難な微小な間隔であっても、第1部材の自己組織化により容易に形成することができる。

【0019】

本発明の電気機械フィルタは、上記構成において、前記第1部材および前記第2部材のうち少なくとも前記第1部材は、触媒材料により成長するように構成され、前記触媒材料を含む電極材料からなる電極部に接続されている構成を採る。

【0020】

この構成によれば、第1部材および第2部材のうち、少なくとも第1部材は、触媒材料を含む電極部に接続されているため、第1部材を電極部に接続するだけで、成長させることができる。

【0021】

本発明の電気機械フィルタは、上記構成において、前記第1部材および第2部材は、カーボンナノチューブにイオンドーピングを施した物質および他原子分子を内包した物質を含む複合組成物質である構成を採る。

【0022】

この構成によれば、第1部材および第2部材は、カーボンナノチューブにイオンドーピングを施した物質および他原子分子を内包した物質を含む複合組成物質であるため、第1部材および第2部材は誘電性を有し、第1部材および第2部材間の電場により、第1部材は物理変化として励振し、第2部材は第1部材に所定の周波数の信号が入力されたときのみ共振するので、第2部材を介して第1部材に入力された所定の周波数の信号のみを選択的に出力することができる。

【0023】

本発明の電気機械フィルタは、上記構成において、前記第1部材および第2部材は、微細加工技術を用い人工的に成形される構成を採る。

【0024】

この構成によれば、第1部材および第2部材は、微細加工技術を用い人工的に成形されるため、所定の周波数の信号のみを選択的に出力する電気機械フィルタを微細加工技術により人工的に製造することができる。

【0025】

本発明の電気機械フィルタは、上記構成において、前記第1部材の物理変化は振動することであり、前記第1部材の振動検出は、前記第1部材に入力される信号を出力する電極に接続されたプローブを用いて、前記第1部材と前記電極との間に流れるトンネル電流を検出することにより行われる構成を採る。

【0026】

この構成によれば、第1部材の振動検出は、プローブを用いて第1部材と電極との間に流れるトンネル電流を検出することにより行われるため、微小な振動でも容易に検出することができる。

【0027】

本発明の電気機械フィルタは、上記構成において、前記第1部材は物理変化として振動し、前記第1部材と前記第2部材との間の前記所定間隔を変化させ、前記第1部材の共振周波数を変化させる調整部を更に有する構成を採る。

【0028】

この構成によれば、調整部が、第1部材と第2部材との間の所定間隔を変化させることにより、第1部材の共振周波数を変化させるため、電気機械フィルタ自体に、製造誤差が生じている場合でも、調整部により第1部材の共振周波数を変化させることにより、第2部材に所定の周波数の信号のみ、出力させることができる。また、第1部材における通過帯域の中心周波数を可変することができ、無線受信装置等に用いて、チャンネル選択、バンド選択などを行うことができる。

【発明の効果】

【0029】

以上説明したように、本発明によれば、導電性に優れたカーボンナノチューブなどの微小の振動子を用いることで全体を微小にすることができるとともに、所定の周波数の信号のみを選択することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

本発明の骨子は、携帯電話といった小型化された無線端末などの通信端末の受動部品であるフィルタに用いられる微小な機械振動子（以下「微小振動子」という）として、カーボンナノチューブやカーボンナノホーン、フラーレンを含む自己組織化により形成される物質を用い、自己共振周波数と同等の所定の周波数の信号が入力されたときのみ、その信号を選択的に出力することである。

【0031】

特に、自己組織化により形成される前記微小振動子を、当該微小な機械振動子と同様に、カーボンナノチューブやカーボンナノホーン、フラーレンを含む自己組織化により形成される物質からなる殻状の部材で覆うように形成された微小な構造体を用いる。そして、この構造体における微小振動子、あるいは殻状の部材の一方（ここでは振動子）に自己共振周波数と同等の所定の周波数の信号を入力することで、前記一方が、微小振動子と殻状の部材との間のギャップで生じる静電気力により大きく励振され、静電容量の変化により他方（ここでは殻状の部材）に、前記所定の周波数の信号を出力する。例えば、以下で説明する実施の形態1に係る電気機械フィルタでは、前記構造体の微小振動子として直径数ナノメートルのカーボンナノチューブを用いている。

【0032】

機械振動子の自己共振周波数 f は、構造体の長さ L 、ヤング率 E 、密度 ρ とすると下記の（式1）と表記される。

【0033】

【数1】

$$f \propto \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \dots (式1)$$

上記の（式1）に示すように、共振周波数 f を高くするには、より高いヤング率 E 、より低い密度 ρ の材料を用いる必要がある。カーボンナノチューブは、1TPaオーダーの非常に高いヤング率の材料であり、より高い共振周波数を発生する微小振動子として用いるに望ましい材料である。

【0034】

さらに、カーボンナノチューブは、カーボンシートを巻いて筒状にした構造をなし、表面部分で3次元的な立体的構造が形成されている。このため、カーボンナノチューブにおける密度の定義には注意する必要があるが、元素自体が非常に軽い材料である上、振動子を形成する原子数密度も他の材料と比較して低いため、密度 ρ が低くなっている。多層（マルチウォール）カーボンナノチューブではなく、単層（シングルウォール）カーボンナノチューブを用いれば、更に密度を下げられるため、より高い共振周波数の発生が期待できる。

【0035】

カーボンナノチューブのようなナノ構造体を機械振動子として用いる場合、その微小な振動を検知するには、ナノ構造体とナノ構造体に信号を入力する電極部などの振動検知手段の間に、ナノメートルオーダーより小さい微小ギャップを形成する必要がある。しかし、この微小なギャップの形成は、現在可能とされているリソグラフィ技術などを用いた人工的な微細加工技術では、非常に困難である。そこで、以下に説明する本発明に係る各実施の形態では、人工的ではなく、原子、分子の自己組織化を利用した振動子としての微小構造体およびその周囲に配置する振動検知手段の製造方法を提示し、自己組織化を有する振動子を有するナノメカニクスによる高周波フィルタを提示する。

【0036】

以下、本発明の各実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0037】

(実施の形態1)

図1は、本実施の形態1における電気機械フィルタの構成を示す図であり、多層カーボンナノチューブを用いた電気機械フィルタの構成を示す縦断面図である。

【0038】

図1に示す電気機械フィルタ100では、表面に絶縁膜102が形成された基板104上に、それぞれ自己組織化により形成されたカーボンナノチューブである内殻106および内殻106を覆う外殻108と、内殻106に信号を入力する信号入力側電極部110、外殻108から信号を外部に出力する信号出力側電極部112、スペーサ部114とが設けられている。

【0039】

基板104は、シリコンなどにより形成され、絶縁膜102は、酸化シリコンなどの絶縁体により形成されている。

【0040】

絶縁膜102上には、その中央部分に信号入力側電極部110が設けられるとともに、この信号入力側電極部110の周囲にスペーサ部114を介して、信号出力側電極部112が設けられている。

【0041】

信号入力側電極部110には、当該信号入力側電極部110に信号を入力する入力信号ポートが接続され、信号出力側電極部112には、出力信号ポートが接続されている。この信号出力側電極部112は、スペーサ部114を介して基板104上の絶縁膜102に設けられていることにより、信号入力側電極部110との結合が避けられた状態となっている。

【0042】

また、信号入力側電極部110および信号出力側電極部112は、Fe(鉄)、Co(コバルト)、Ni(ニッケル)などのように、自己組織化するカーボンナノチューブの成長の触媒材料により形成されている。

【0043】

信号入力側電極部110の上面には、基端部が接続された内殻106が立った状態で設けられ、信号出力側電極部112の上面には、基端部が接続された外殻108が立った状態で設けられている。

【0044】

内殻106および外殻108は、それぞれ筒状の本体部の先端部に、当該先端部を塞ぐようにキャップ部が設けられ、内殻106は外殻108に内包された状態で配置されている。

【0045】

そして、内殻106の外面と外殻108の内面との間には所定間隔(以下、ギャップという)Gが設けられ、内殻106は所定の周波数の信号が入力されることで振動する振動子、外殻108は振動検知用の電極となっている。

【0046】

内殻106の振動子と外殻108の信号検出用の電極との間のギャップGは、多層カーボンナノチューブの各層の間隔と同程度のサイズであり、カーボンの自己組織化を利用した微小ギャップGである。なお、ギャップGのサイズは、数オングストロームから数十nm程度である。このように内殻106を外殻108が覆うような殻構造であるので、外殻108が内殻106に被さっている分、これら内殻106および外殻108が占有するスペースを小さくすることができ、電気機械フィルタ全体のスケールを更に微小にすることができる。

【0047】

次に、この電気機械フィルタ100における信号伝播と信号選択の仕組みについて説明

する。

【0048】

入力信号ポートより入力された信号は、カーボンナノチューブである内殻106に伝搬すると、内殻106とカーボンナノチューブである外殻108との電位差によりギャップGにおいて静電気力が発生する。この発生する静電気力により、内殻106は励振される。入力信号ポートからは様々な周波数の信号が入力されるが、所定の周波数の信号、つまり、カーボンナノチューブからなる内殻106の共振周波数と同等の周波数の信号のみが、内殻106を大きく励振させる。なお、図1では振動方向を矢印V1で示している。

【0049】

このように内殻106が大きく励振した場合、内殻106と外殻108との間のギャップGが狭くなり、静電容量の増加とインピーダンスの減少が生ずる。すると、信号は、インピーダンスの減少により選択的に外殻108に伝搬し、この外殻108および信号出力側電極部112を介して、出力信号ポートへ伝播する。

【0050】

一方、内殻106の共振周波数ではない周波数の信号は、内殻106の大きな振幅の振動を励起することができず、インピーダンスの減少を得ることができないため、外殻108から信号出力側電極部112、出力信号ポートへ伝播することができない。

【0051】

このように、電気機械フィルタ100によれば、所定の周波数の信号のみを選択して、出力することができ、それ以外の信号を遮断することができる。

【0052】

すなわち、本実施の形態1によれば、内殻106に所定の周波数の信号が入力されたときにのみ、外殻108は内殻106の物理変化、すなわち、振動を検出するため、カーボンナノチューブまたはフラーレンなどのように所定の周波数の信号が入力されることで物理変化する微小な部材を内殻106に用いることにより、全体を微小にすることができるとともに、外殻108により所定の周波数の信号のみを選択することができる。

【0053】

なお、電気機械フィルタ100では、外殻108を内殻106と同様のカーボンナノチューブにより形成したがこれにかぎらず、自己組織力を有する他の物質を用いてもよい。

【0054】

図2は、図1の電気機械フィルタの変形例を示す縦断面図である。図2に示す電気機械フィルタ100aでは、電気機械フィルタ100において振動検知用の電極である筒状の外殻108に代えて、自己組織化により形成され、カーボンナノチューブの一種である一端が閉じた裾広がりの角状のカーボンナノホーンを外殻118として用いている。なお、図2の電気機械フィルタ100aにおいて、図1に示す電気機械フィルタ100と同様の構成については同名称および同符号を付して説明は省略する。

【0055】

電気機械フィルタ100aは、電気機械フィルタ100と同様に、基板104の表面に形成された絶縁膜102上に、入力信号ポートが接続されている信号入力側電極部110と、スペーサ部114aを介して設けられ、出力信号ポートが接続されている信号出力側電極部112aとが配置されている。

【0056】

信号入力側電極部110には、その表面に内殻106が接続された状態で設けられ、信号出力側電極部112aには、その表面に、外殻118が接続された状態で設けられている。内殻106は信号入力側電極部112aから立った状態で配置され、外殻118は、軸心を内殻106の軸心と同軸心となるように内殻106を覆うように配置されている。

【0057】

信号出力側電極部112aに接続される外殻118が、先端部が閉じられ基端部側に向かって裾広がりの略円錐状のカーボンナノホーンであるので、電気機械フィルタ100aでは、電気機械フィルタ100と比べ、外殻118の基端側に向かって、内殻106と外

殻118とのギャップG1が広がっている。このため、外殻118の基端部に接続される信号出力側電極部112aは、絶縁膜102上において、内殻106の基端部に接続される信号入力側電極部110から離れた位置に配置される構成となり、信号入力側電極部110と信号出力側電極部112aの基板104に対するパターンニング作業が、容易なものとなっている。

【0058】

なお、この電気機械フィルタ100aにおける信号選択の仕組みは、電気機械フィルタ100と同様であるので説明は省略する。

【0059】

ここで、電気機械フィルタ100の製造方法について説明する。

【0060】

図3(a)～(d)および図4(e)、(f)は、本発明の実施の形態1における電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明する断面図である。

【0061】

まず、図3(a)に示すように、シリコン基板104上に熱酸化により絶縁膜102(図1参照)となる酸化シリコン202を1 μ m程度の厚さで形成し、更にその上にスペーサ部114となる数十nm程度の厚さの酸化シリコン214をスパッタにより形成する。

【0062】

次いで、図3(b)に示すように、酸化シリコン214を、ドライエッチングにより形成するため、フォトリソグラフィによりパターンニングしたフォトレジスト204を形成する。

【0063】

そして、酸化シリコン214をドライエッチングし、フォトレジスト204をアッシングにより除去する。このようにフォトレジスト204を除去した後のシリコン基板104上の酸化シリコン214は、図3(c)に示すように、スペーサ部114となる。

【0064】

次いで、各電極部(ここでは図1に示す信号入力側電極部110および信号出力側電極部112)の形成を行う。

【0065】

図3(d)に示すように、スペーサ部114およびスペーサ部114間の絶縁膜202上に、Fe、Co、Niなどの電極材料205をスパッタにより数十nm程度堆積し、その上にフォトリソグラフィにより電極パターンにパターンニングされたフォトレジスト206を形成する。

【0066】

次いで、電極材料205をドライエッチングして、フォトレジスト206をアッシングにより除去し、図4(e)に示すように、スペーサ部114上の電極材料205部分を電極部(信号入力側電極部110、信号出力側電極部112)として形成する。

【0067】

図4(e)に示すように、電極材料205の加工によりスペーサ部114上に電極部(信号入力側電極部110、信号出力側電極部112)を形成した後、図4(f)に示すように、信号入力側電極部110、信号出力側電極部112上に、基板104に対して垂直方向に電界を発生させながら熱CVD(化学気相成長、Chemical Vapor Deposition)法により内殻106、外殻108となるカーボン構造体(カーボンナノチューブ)を形成し、成長方向制御により内殻106および内殻106を覆う外殻108を有する多殻構造206を作製する。

【0068】

上記の様な自己組織化により形成される多殻構造206は、CVD法などの材料堆積条件、電界方向などにより構造を制御することが可能であり、内殻106および外殻108間のギャップGのサイズ、カーボン構造体の層の数、形成位置、形状などを制御することができる。

【0069】

本実施の形態によれば、カーボンナノチューブからなる内殻106および外殻108がそれぞれ接続されている信号入力側電極部110、信号出力側電極部112の電極材料として、Fe、Co、Niなどのカーボンナノチューブの成長の触媒材料を用いているので、それぞれカーボンナノチューブからなる内殻106および外殻108は自己組織化し、人工的に調整することなく内殻106が振動に必要なギャップGは好適なサイズで容易に形成される。

【0070】

これにより、内殻106および外殻108が微小構造物であり、これら内殻106および外殻108との間のギャップGが人工的に形成困難な微小なギャップであっても、信号入力側電極部110、信号出力側電極部112を触媒として内殻106および外殻108が自己組織化して成長することにより、所定の周波数の信号のみを検出可能な微小な電気機械フィルタ100を容易に製造することができる。

【0071】

また、内殻106および外殻108により構成される多殻構造を有するカーボン構造体は、ナノプローブなどを用いたナノマニピュレーティング、ナノマニファクチャリングにより、外殻108やカーボンナノホーンである外殻118を内殻106に被せたり、また、多層カーボンナノチューブの層を抜き出したり、カーボンナノチューブのキャップを外したり、カーボンナノチューブを引っ張るなどの成形を行うことにより制御することが可能である。

【0072】

なお、内殻106および外殻108、118との電場に非対称性をもたせるため、外殻108、118の一部を引っ張る、焼結する、異原子を注入するなどの工程を行うことができる。また、電気機械フィルタ100における内殻106および外殻108は、カーボンナノチューブを用いたが、これに限らず、フラーレン、タンパク質の様な高分子などを含み、自己組織化によって形成された物質により形成してもよい。また、内殻106および外殻108は、カーボンナノチューブにイオンドーピングを施した物質および他原子分子を内包した物質を含む、複合組成物質であってもよい。さらに、信号入力側電極部110、信号出力側電極部112の材料としてカーボンナノチューブなどの微小材料を用いることができる。

【0073】

また、外殻108を構成するカーボンナノチューブ、外殻118を構成するカーボンナノホーンは、それぞれ多層のカーボンナノチューブ、カーボンナノホーンとして説明したが、これに限らず、それぞれ単層のカーボンナノチューブ、カーボンナノホーンを用いてもよい。

【0074】

さらに、電気機械フィルタ100、100aでは、内殻106を振動子、外殻108、118を信号検出用の電極としたが、これに限らず、内殻106に出力信号ポートを接続して内殻106を信号検出用の電極とし、外殻108、118に入力信号ポートを接続して外殻108、118を振動子として用いてもよい。この場合、上記電気機械フィルタ100、100aの構成において、内殻106には出力信号ポートを接続し、外殻108、118に入力信号ポートを接続することにより可能となる。

【0075】

また、電気機械フィルタ100、100aによれば、振動子としての内殻106の横共振、縦共振を含む全ての共振モードを使用することができる。また、本発明における内殻106および外殻108からなる多殻構造物を複数、直列または並列に接続して電気機械フィルタとすることができる。さらに、CVD法に関しては、プラズマCVD法などの他のCVD法を用いることができる。また、スペーサ部114、114aと信号入力側電極部110、信号出力側電極部112、112aの形成は、リフトオフプロセスにより行うことができる。

【0076】

(実施の形態 2)

図5は、本発明の実施の形態2における電気機械フィルタの構成を示す斜視図である。

【0077】

図5に示す電気機械フィルタ300では、シリコン基板302上に酸化シリコンによりなる絶縁膜304が形成され、この絶縁膜304上にスペーサ部306を介して、互いに所定間隔を空けて配置された電極部310、312、314が設けられている。

【0078】

電極部310、312、314は、カーボンナノチューブの成長における触媒材料であるFe(鉄)、Co(コバルト)、Ni(ニッケル)などから構成され、スペーサ部306を介してそれぞれが接触しないように配置されている。

【0079】

これら電極部310、312、314のうち電極部310には、入力信号ポートが接続され、この電極部(以下、「信号入力側電極部」という)310と、電極部312との間には、長尺な筒状の振動子316が架設されている。また、この振動子316の側方には、振動子316の振動により当該振動子316を介して信号が入力される電極部(以下、「信号出力側電極部」という)314が配置されている。

【0080】

スペーサ部306は酸化シリコンにより形成され、触媒材料で形成された電極部310、312は、絶縁膜304である下地表面からの分子間力などの相互作用が防止されている。

【0081】

振動子316は、上述した内殻106と同様の物資であるカーボンナノチューブからなり、信号入力側電極部310を介して所定の周波数の信号が入力された際に、信号出力側電極部314との間に静電気力が発生し、この静電気力により励振する。そして、信号出力側電極部314は、この励振を検出することにより、振動子316から、当該振動子316に入力された信号と同様の周波数の信号が入力される。

【0082】

次に、本実施の形態2における電気機械フィルタ300の動作を説明する。

【0083】

入力信号ポートから入力される信号は、信号入力側電極部310を介してカーボンナノチューブである振動子316に伝搬する。その場合、信号により振動子316の電位が変化し、信号出力側電極部314との間に静電気力の変化が生ずる。この静電気力の変化によって振動子316が励振され、振動子316と信号出力側電極部314との間のギャップG2が狭くなる。

【0084】

この振動子316の機械振動により、振動子316と信号出力側電極部314との間の静電容量の増加とインピーダンスの減少が生じ、振動子316の共振周波数と同等の周波数の信号のみが、信号出力側電極部314に伝わり、出力信号ポートへ伝搬する。すなわち、通過帯域外の周波数の信号は、信号出力側電極部314には伝播することができない。

【0085】

なお、電気機械フィルタ300において、単層、多層といった層の数、異方性をもった成長方向、グラファイト、カーボンナノチューブ、カーボンナノホーンといった振動子316を構成するカーボンナノチューブの形状など、その構造形成は、熱CVD法を用いたカーボンナノチューブ形成制御により制御している。このカーボンナノチューブ構造形成については後述する。

【0086】

次に、本実施の形態2の電気機械フィルタの製造方法を説明する。

【0087】

図6(a)～(e)は、本発明の実施の形態2の電気機械フィルタにおける製造工程を段階的に説明するための断面図である。

【0088】

先ず、図6(a)に示すように、シリコン基板302上に、熱酸化により絶縁膜304(図5参照)となる酸化シリコン404を1 μ m程度の厚さで形成し、更にその上に1 μ m程度の厚さのスペーサ部306(図5参照)となる酸化シリコン406をスパッタにより形成する。

【0089】

次に、図6(b)に示すように、酸化シリコン404上に形成された酸化シリコン406を、ドライエッチングにより成形してスペーサ部306にするため、酸化シリコン406においてスペーサ部306を形成する部分の上面にフォトリソグラフィーによりパターンニングしたフォトレジスト408を形成する。なお、図6(b)では、図6(a)の酸化シリコン404は、シリコン基板302の表面に絶縁膜304として形成された状態となっている。

【0090】

次いで、酸化シリコン406をドライエッチングし、フォトレジスト408をアッシングにより除去する。

【0091】

すると、図6(c)に示すように、フォトレジスト408(図6(b)参照)をアッシングにより除去することにより、絶縁膜304上の酸化シリコン406(図6(b)参照)のうち、フォトレジスト408の下部に位置していた部分が、スペーサ部306として絶縁膜304上に形成される。

【0092】

次に、電極部の形成を行う。すなわち、図6(d)に示すように、Fe、Co、Niなどといったカーボンナノチューブの成長における触媒となる電極材料410をスパッタにより数十nm程度堆積し、スペーサ部306上に堆積した電極材料410部分上に、フォトリソグラフィーにより電極パターンにパターンニングされたフォトレジスト412を形成する。そして、電極材料410のドライエッチングを行った後、フォトレジスト412をアッシングにより除去する。

【0093】

これにより、フォトレジスト412が堆積されていた電極材料410部分が、スペーサ部306上に電極310、312、314(図5参照)として形成される。なお、これら各電極部310、312、314は、それぞれ所定間隔を空けて形成されており、信号入力側電極部310と電極部312とは互いに対向して配置され、信号出力側電極部314は、信号入力側電極部310と電極部312とを結ぶ線を中心から、当該線と直交する方向に所定間隔(ギャップG2分)離間して配置されている。図6(d)では、信号入力側電極部310および電極部312となる電極材料410部分を図示している。

【0094】

そして、これら信号入力側電極部310、電極部312などの形成が終わった後、図6(e)に示すように、信号入力側電極部310と、電極部312間に電圧を印加しながら熱CVD法によりカーボンナノチューブを形成し、成長方向制御により電極部310、312間に架橋するように成長させて、信号入力側電極部310、電極部312間に架設される微小の機械振動子316を作製する。なお、熱CVD法に用いられるガスは、メタンガスを用い、その場合の振動子(カーボンナノチューブ)316の成長温度は、850℃程度である。

【0095】

ここで、カーボンナノチューブである振動子316の成長制御方法は、振動子316の成長方向を水平方向に制御するため、信号入力側電極部310と電極部312の間に電圧を印加し、振動子316の成長方向と同方向に電界を発生させる。なお、ここでは、振動子316は信号入力側電極部310から成長するようにセットしている。

【0096】

これより、カーボンナノチューブは、電界方向にクーロン引力を感じ、電界方向に成長を始め、信号入力側電極部310と電極部312との間に架橋された状態となる。

【0097】

このような工程においてカーボンナノチューブの成長時間を制御すれば、図7に示すように、電気機械フィルタ300aにおける振動子316aを構成するカーボンナノチューブの片持ち梁構造を作製することが可能である。なお、この電気機械フィルタ300aは電気機械フィルタ300と振動子の構成のみ異なり、その他の構成は同一である。よって、同一構成には同名称、同符号を付して説明は省略する。

【0098】

本実施の形態によれば、信号が入力信号ポートから信号入力側電極部310を介して振動子316に入力された場合、振動子316の自己共振周波数と同等の周波数の信号のときにのみ、振動子316は励振され、信号出力側電極部314との間の静電容量の増加とインピーダンスの減少が生じて、信号が信号出力側電極部314に伝搬するので、所定の周波数のみの信号を選択して出力することができる。

【0099】

なお、振動子316であるカーボンナノチューブは、単数または複数本構成されていても良い。また、振動子316としてのカーボンナノチューブには、単層カーボンナノチューブや多層カーボンナノチューブを用いてもよい。さらに、信号出力側電極部314に対向して、かつ、振動子316を挟んだ位置に、制御信号電源に接続された制御電極部をさらに設け、振動子316の振動を制御してもよい。

【0100】

また、振動子316としては、カーボンナノチューブ以外にフラーレン、タンパク質の様な高分子などを含む、自己組織化によって形成された物質を用いてもよい。なお、振動子316としては、カーボンナノチューブを用いたが、これに限らず、カーボンナノチューブにイオンドーピングを施した物質および他原子分子を内包した物質を含む、複合組成物質を用いてもよい。

【0101】

また、本実施の形態における電気機械フィルタ300、300aを、直列または並列に複数接続して電気機械フィルタ装置としてもよい。なお、振動子316、316aを製造する際に、熱CVD法を用いたがこれに限らず、プラズマCVD法などの他の化学気相成長法を用いることにより製造してもよい。また、振動子316、316aであるカーボンナノチューブの成長方向制御のための電界発生方法は、外部電場発生機構を用いてもよい。さらに、スペーサ部306と各電極部310、312、314の形成は、リフトオフプロセスにより行うようにしてもよい。

【0102】

(内殻106、外殻108および振動子316、316aであるカーボンナノチューブの振動検出方法)

【0103】

図8は本発明に係る電気機械フィルタにおける振動子の振動検出方法の一例を説明するための図である。図8(a)は、実施の形態1の電気機械フィルタにおける内殻として用いられるカーボンナノチューブの振動検出を説明するための断面図、図8(b)は検出されたトンネル電流を示す図である。

【0104】

上述した各微小な電気機械フィルタ100、100a、300、300aなどにおける内殻106、振動子316としてのカーボンナノチューブの振動は、微小な変位の振動であり、この振動を検出にあたり、ここでは、トンネル電流をプローブの一部として用いる走査トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscopy; 以下、「STM」という)により行う。

【0105】

図8(a)に示す電気機械フィルタ100bは、図1に示す電気機械フィルタ100において、外殻108、スペーサ部114、信号出力側電極部112を除いた構成である。よって、電気機械フィルタ100と同様の構成要素には同符号を付して説明は省略する。

【0106】

電気機械フィルタ100bでは、シリコン基板104上に形成された絶縁膜102の表面に、信号入力側電極部110を介してカーボンナノチューブなどによりなる振動子としての内殻106が立った状態で設けられている。

【0107】

電気機械フィルタ100bが備えるカーボンナノチューブからなる振動子としての内殻106の周囲に、STM(図示省略)の探針502を配置する。探針502と内殻106との距離は、トンネル電流504が流れる程度(数十オングストローム)であり、内殻106が振動(振動方向を矢印V1で示す)した際の探針502と内殻106との間の距離の変化を、トンネル電流504の変化で検知する。

【0108】

これにより、図8(b)に示すように、内殻106の振動は、トンネル電流の振動として検出され、トンネル電流504の振動の周波数が、カーボンナノチューブである内殻106の振動周波数となる。なお、ギガヘルツ帯の振動を実現する内殻106は、ナノオーダーの微小な構造物であり、その振動の変位は、数十オングストロームと微小である。その変位のオーダーは、丁度原子レベルの表面構造を検出するSTMの分解能と同レベルであるため、この微小な振動の検出にSTMの原理を用いるのは好適であり、高い精度の測定を行うことができる。

【0109】

この振動検出方法は、実施の形態2における電気機械フィルタ300の構成にも適用できる。図9は実施の形態2の電気機械フィルタにおける振動子として用いられるカーボンナノチューブの振動検出を説明するための斜視図である。

【0110】

図9に示す電気機械フィルタ300bは、図5の電気機械フィルタ300において、信号出力側電極部314を除いた構成である。よって、電気機械フィルタ300と同様の構成要素には同符号を付して説明は省略する。

【0111】

この電気機械フィルタ300bは、シリコン基板302上に形成された絶縁膜304の表面に、スペーサ部306を介して信号入力側電極部310、電極部312が所定間隔を空けて設けられ、これら信号入力側電極部310および電極部312間にカーボンナノチューブである振動子316が架設されている。

【0112】

このように構成された電気機械フィルタ300bにおいて、振動子316の振動検出を行う際には、振動子316の上方に、STM(図示省略)の探針502を配置する。ここで、探針502と振動子316との距離は、上述した電気機械フィルタ100aにおける振動検出のときと同様に、トンネル電流が流れる程度(数十オングストローム)であり、振動子316が垂直方向に振動した際(振動方向を矢印V2で示す)の探針502と振動子316との間の距離の変化を、トンネル電流の変化で検知する。なお、この場合、垂直方向の振動発生のために、下方の各電極部310、312やシリコン基板302に制御信号電源505を接続することができる。

【0113】

なお、STMの探針502の位置決めは、STMと走査形電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope: 以下「SEM」という)を組み合わせた装置、STM-SEM内で行っても良く、トンネル電流検出中は、SEMによる電子ビームが外乱の原因となる恐れがあるため、SEMは使用しなくても良い。

【0114】

電気機械フィルタ100b、300bにおけるカーボンナノチューブ製の内殻106お

よび振動子 316 の振動検出方法によれば、STM の探針 502 を用い、内殻 106 および振動子 316 と、探針 502 間を流れるトンネル電流の変化で検知するため、微小な振動でも容易に検出することができる。よって、マグネトモティブの手法、レーザードップラー干渉法、レーザ反射用の金属やシリコン (Si) 製のミラーなどにより検出する方法等とは異なり、検出のために外部磁場を発生させる大きな装置や、検出作業のための大きなスペース等が必要なく、さらにミラーを用いた場合にミラーも含めた振動を検出することがなく、容易に、微小な内殻 106 および振動子 316 自体の振動特性を検出することができる。

【0115】

(実施の形態 3)

図 10 は本発明の実施の形態 3 に係る電気機械フィルタの構成を示す斜視図である。

【0116】

図 10 に示す電気機械フィルタ 600 では、シリコン基板 602 の表面に酸化シリコンからなる絶縁膜 604 が形成されている。この絶縁膜 604 上に所定間隔空けて酸化シリコンからなるスペーサ部 606 を介して電極部 608、610 が配置されている。

【0117】

電極部 608 には信号が入力される入力信号ポートが接続され、電極部 610 には、電極部 610 から信号を出力する出力信号ポートが接続されている。

【0118】

これら電極部 608、610 間には、電極部 608、610 の対向方向と直交する方向に延在してカーボンナノチューブである振動子 612 が配置され、この振動子 612 の振動により電極部 610 に信号が伝播した状態となる。なお、この振動子 612 は図示しない支持部材により支持されている。

【0119】

カーボンナノチューブである振動子 612 は、両側の電極部 608、610 のそれぞれから所定間隔離れた位置に配置され、電極部 608 に信号が入力された際に、振動子 612 と電極部 608、610 との間に生じる静電気力により励振する。また、振動子 612 は、自己共振周波数と同等の周波数を有する信号が入力された際に振動し、電極部 610 へ伝搬される。

【0120】

なお、スペーサ部 606 は、振動子 612 と下地である絶縁膜 604 間の分子間力の影響が、カーボンナノチューブからなる振動子 612 の駆動特性に影響を及ぼす恐れがあるために設けられている。つまり、各電極部 608、610 はカーボンナノチューブを挟んで対向するように配置する必要があるため、スペーサ部 606 は、各電極部 608、610 と絶縁膜 604 とを絶縁する。

【0121】

この電気機械フィルタ 600 では、所定の周波数の信号が入力信号ポートから入力されると、電極部 608 を介してカーボンナノチューブである振動子 612 に伝搬する。その場合、信号により振動子 612 の電位が変化し、電極部 610 との間に静電気力の変化が生ずる。

【0122】

この静電気力の変化によって振動子 612 が励振され、振動子 612 と電極部 610 との間のギャップが狭くなる。ギャップが狭くなることにより、振動子 612 と電極部 610 との間の静電容量の増加とインピーダンスの減少が生じ、振動子 612 の共振周波数と同等の周波数の信号のみが、電極部 610 に伝わり、出力信号ポートへ伝搬する。すなわち、通過帯域外の周波数の信号は、信号出力側電極部 610 には伝播することができない。

【0123】

よって、電気機械フィルタ 600 によれば、所定の周波数の信号のみを選択的に出力することができる。

【0124】

図11は、実施の形態3における電気機械フィルタの変形例を示す平断面図である。

【0125】

図11に示す電気機械フィルタ600aは、図10に示す実施の形態3に対応する電気機械フィルタ600において振動子の構成のみが異なり、その他の構成は電気機械フィルタ600と同様の構成を有する。したがって、共通する部分の説明は省略し、異なる部分についてのみ、図に即して説明する。

【0126】

電気機械フィルタ600aは、振動子にカーボンナノチューブを用いたメカニカルアクチュエータの駆動方式であり、多層カーボンナノチューブの内殻614を振動子とし、この内殻614を外殻616内で振動させる構成である。

【0127】

すなわち、電気機械フィルタ600aにおける多層カーボンナノチューブ618は、外殻616の両端、もしくは片側一方の端のキャップを取ることにより、この端の開放された外殻616内で、内殻614が軸方向に動くように構成されている。

【0128】

詳細には、多層カーボンナノチューブ618は、筒状の外殻616内に、筒状の内殻614が同軸心上に配置され、内殻614の両端部は、外殻616の両端部より外方に突出した形状をなしている。

【0129】

また、多層カーボンナノチューブ618の外殻616の側周部は、入力信号ポート、出力信号ポートがそれぞれ接続された各電極部608、610に接続されている。

【0130】

このような電気機械フィルタ600aにおいて、入力信号ポートから信号が電極部608に入力されると、電極部608から外殻616に伝搬し、外殻616から内殻614の両端部が突出した状態においては、外殻616と内殻614が接する原子面間で分子間力（ファンデルワールス力）が発生し、内殻614は、外殻616内に引き込まれて、外殻616の一端部側から他端側に移動する。

【0131】

分子間力によるポテンシャルエネルギーが最も低い安定な状態においては、内殻614が外殻616に引き込まれる運動エネルギーが最も高い状態となる。また、内殻614が逆側で瞬間的に静止した状態においては、再び分子間力によるポテンシャルエネルギーが最大の状態となり、運動エネルギーは零となる。この運動は、外殻616の一端部分と、他端部分のそれぞれで繰り返されることになり、内殻614は外殻616内で、下に凸型のポテンシャル曲線上を運動する振動子の単振動と同様な運動を行う。すなわち、内殻614は外殻616内で軸方向に往復運動、つまり、振動することとなる。なお、内殻614の振動を制御するため、イオンドーピングや分子注入などにより内殻614のカーボンナノチューブに誘電性をもたせ、外部電場により振動を発生させている。

【0132】

また、外部電場は、外殻616に接続された電極部608と電極部610との間に発生する。内殻614の外殻616内での移動による変位により、内殻614の静電容量が変化し、電氣的に結合した場合のみ信号は電極部610を介し出力信号ポートへ伝播される。

【0133】

なお、多層カーボンナノチューブ618の長手方向に信号出力側電極部を設け、振動子である内殻614のカーボンナノチューブと信号出力側電極部とのギャップが狭くなった時、信号が信号出力側電極部へ伝搬する信号選択の仕組みとしてもよい。

【0134】

また、外殻616と、信号入力側電極部608、信号出力側電極部610の界面には、接合時に形成される絶縁層があってもよい。さらに、内殻614、外殻616との電場に

非対称性をもたせるため、外殻 616 の一部を引っ張る、焼結する、異原子を注入するなどの工程を行うことにより多層カーボンナノチューブを形成してもよい。さらに、内殻 614 及び外殻 616 は、フラーレン、タンパク質の様な高分子などを含む、自己組織化によって形成してもよい。

【0135】

また、内殻 614 及び外殻 616 は、カーボンナノチューブにイオンドーピングを施した物質および他原子分子を内包した物質を含む、複合組成物質であってもよい。さらに、電極部の材料にカーボンナノチューブなどの微小材料を用いてもよい。さらに、内殻 614、外殻 616 にそれぞれ単層カーボンナノチューブを用いて形成してもよい。

【0136】

また、電極部 608、電極部 610 は、カーボンナノチューブの成長における触媒材料である Fe (鉄)、Co (コバルト)、Ni (ニッケル) などの材料で作製することができる。さらに、カーボンナノチューブ 618 を複数用意し、これら複数の多層カーボンナノチューブ 618 どうしを上述したように、それぞれの両側部で入出力側電極部 608、610 が接続されるように直列に接続して電気機械フィルタとしてもよい。また、上記電気機械フィルタ 600a を並列に接続した構成としてもよい。

【0137】

(実施の形態 4)

図 12 は、本発明の実施の形態 4 における電気機械フィルタの構成を示す斜視図である。

【0138】

図 12 に示す電気機械フィルタ 400 は、図 8 の電気機械フィルタ 100b と同様に構成される共振部 401 と、共振部 401 の振動を検出する探針 402、探針 402 と共振部 401 との間の距離を調整する調整部 403 とを有する。

【0139】

共振部 401 では、図 8 に示す電気機械フィルタ 100 と同様に構成されてなり、表面に絶縁膜 102 が形成されたシリコン基板 104 上に信号入力側電極部 110 が設けられ、この信号入力電極部 110 の上面に振動子 106a が立った状態で設けられている。

【0140】

信号入力側電極部 110 は、振動子 106a に信号を入力するものである。また、振動子 106a は、図 8 に示す振動子としての内殻 106 と同様のものであり、自己組織化により形成されたカーボンナノチューブによりなる。

【0141】

一方、探針 402 は、図 8 で示す探針 502 と同様のものであり、この探針 402 は調整部 403 により、共振部 401 の振動子 106a に対して接離方向に移動する。この探針 402 の移動は、探針 402 と振動子 106a との間に働く力を変化させ、振動子 106a の固有振動数を変化させる。また、探針 402 は、実施の形態 1 の外殻 108 と同様の作用効果を有する。

【0142】

つまり、探針 402 は、共振部 401 の振動を検知する電極としても機能し、共振部 401 の振動子 106a に所定の周波数の信号が入力されたときにのみ、振動子 106a の物理変化を検出して、図示しない出力信号ポートに出力する。なお、信号出力ポートは、ここでは図示しないが、各実施の形態の信号出力ポートと同様の構成作用を有するものであり説明は省略する。

【0143】

調整部 403 は、例えば、カンチレバーであり、探針 402 が先端に設けられたレバー本体 403a と、レバー本体 403a の基端に接続され、レバー本体 403a を可動させる可動本体部 403b とを有する。このレバー本体 403a は、可撓性を有し、探針 402 の振動に伴い振動する。

【0144】

また、可動本体部403bは、レバー本体403aを振動子106aに対して接離方向に移動して、探針402と振動子106aとの距離を変化させる。例えば、可動本体部403bは、電気機械フィルタ本体の所定位置に固定し、ステッピングモータを用いて、可動本体部403bに対してレバー本体403aを移動させることにより、レバー本体403a自体を振動子106aから離間する方向に移動させる構成が挙げられる。

【0145】

図12に示すように、振動子106aと探針（プローブ）402間の距離をL、探針402が振動する際の振幅をAとすると、可動本体部403bに対して、レバー本体403aを移動、つまり、探針402を移動することにより、距離Lを変化させ、振動子106aの振幅Aを変化させる。つまり、距離Lを変化させることにより、探針402と振動子106aとの距離L1が変化する。

【0146】

この距離L1の変化、つまりは距離Lを変化させることにより、微小な振動子106aの固有振動数は変化する。

【0147】

ここで、振動子106aの固有振動数について説明する。微小な振動子106aの固有振動数は、上述したように振動子自体のサイズで決まる。このため、振動子106aが所望のサイズで製作できなければ、所望の共振周波数を有する電気機械フィルタを実現することができない。ここでは、振動子106aは、円筒形状であるので、円筒形状の振動子として説明する。

【0148】

図13は、円筒型の振動子の高さ（高さ）と固有振動数の関係を示す図である。図13に示すように、上記の（式1）から、共振周波数は振動子の長さの -2 乗で比例するため、僅かな振動子の製作誤差は、共振周波数のずれを生じさせている。いま所望の共振周波数を1GHzとすると、振動子の材料によって異なるが、カーボンナノチューブの場合、おおよそ共振器の高さは $0.6\mu\text{m}$ となる。

【0149】

振動子の高さが、所望の $0.6\mu\text{m}$ から1%の誤差（ $0.606\mu\text{m}$ ）で作製された場合、共振周波数は2%変化して、 1.02GHz となり、中心周波数が20MHz変化することになる。

【0150】

この振動子の中心周波数ずれの許容量は、振動子を有する電気機械フィルタが電波を受信したり、送信する際のフィルタとして無線システムに用いられた場合、その無線システムに依存する。しかし、20MHzの中心周波数のずれを許容する無線システムは、一般的にはないため、このずれ量は無視できない値となる。

【0151】

このため、精度の高い振動子の製作方法、もしくは振動子106aの周波数チューニング機構を備えることが望ましい。

【0152】

この本実施の形態4の電気機械フィルタ400は、上記構成により、精度が高い周波数チューニングを行うことができる。

【0153】

次に、本実施の形態の電気機械フィルタ400で行うことができる周波数チューニングについて説明する。

【0154】

一般的にカンチレバー（非特許文献「原子・分子のナノ力学」丸善株式会社 p53からp56）によると、カンチレバーと試料表面間のギャップdが変化すれば、カンチレバーと試料表面に働く力の向きと大きさが変化するため、共振周波数が変化することが知られている。下記の（式2）に共振周波数の変動量、つまり、振動子106aの固有振動数からのシフト量 $\Delta\nu$ を示す。

【0155】

【数2】

$$\Delta \nu = \frac{1}{2\pi KA} \int_0^{2\pi} F(L + A \cos \Psi) \cos \Psi d\Psi \quad \dots (式2)$$

ν 、 A 、 L はそれぞれカンチレバーの共振振動数、振動振幅、カンチレバーと試料表面の平行位置を示す。

【0156】

$\Delta \nu$ はカンチレバーと試料間の力 F の1周期にわたっての重みつき平均に比例する。したがって、小振幅極限 $A \ll L$ では、探針402と振動子106aの間で働く力 F は、 $\Delta \nu$ に比例する。

【0157】

つまり、探針402と振動子106a間に働く力の大きさにより、振動子106aの共振周波数は可変できる。これにより、調整部403は、振動子106aの製造誤差などから生じる共振周波数のずれ量を補正する役目を担うことができる。

【0158】

力 F の大きさは探針402と振動子106a間に働く力の発生メカニズムで変化する。これは探針402と振動子106aの相対的な位置関係によって決定する。

【0159】

振動子106aと探針402が十分離れていれば、振動子106aと探針402間に相互作用が発生しないため、力 F は発生しないが、探針402が振動子106aと近づくと、両者の間で引力が発生し、力 F が生じる。

【0160】

引力は距離の-2乗で比例するため、探針402と振動子106aの距離が近いと、力 F も大きくなる。さらに、探針402を振動子106aに近づけて、探針402と振動子106a間の距離を短くすると、振動子106aと探針402間に斥力が生じ、力 F の方向は反転する。

【0161】

このように、振動子106aと探針402間の距離を変化させることで、両者に働く力の大きさ、方向を変化させることができる。

【0162】

図14は、探針402の振幅と、振動子106aの共振周波数との関係を示す図である。なお、図14では、縦軸に振幅、横軸に振動子106aの共振周波数を示し、各グラフQ、R、Sはそれぞれの領域での特性を示している。なお、図14中、q、r、sは、同一の角周波数(ωd)での振動振幅をそれぞれ示す。但し、グラフSにおいて、点線で示した領域は不安定な領域であるため、実際のスペクトルは実線で示している。つまり、曲線Sでは低周波数側と高周波数側でそれぞれ不連続な変化をもつ。

【0163】

図14に示すように、探針402の位置と振動子106aの位置が十分離れている場合、図中のグラフQのように力 F が働かないため、振動子106aは固有振動数で振動する。

【0164】

探針402を振動子106aに近づければ、探針402と振動子106aの間に引力が作用し、図中のグラフRに示すように共振周波数は低周波側にシフトする。

【0165】

さらに、探針402を振動子106aに接近させて、斥力領域に入った場合、力 F の向きが反転し、振動子106aの共振周波数は、図中のグラフSに示すように高周波側にシフトする。

【0166】

なお、本実施の形態4において、探針402の振動を検出する方法としては、実施の形

態 2 と同様に、静電容量の変化を検出、トンネルの電流を検出する方法もあり、また通常の原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscopy: A F M) のように光により検出してもよい。

【0167】

また、本実施の形態 4 の電気機械フィルタ 400 では、振動子 106 a の製造誤差を補償するだけでなく、当然、それ以外の要因から生じる共振周波数の変化に対しても補償することができる。また、電気機械フィルタ 400 において、通過帯域の中心周波数を可変させることが可能となるため、例えば、無線端末装置に用いた場合、チャンネル選択、バンド選択などが可能となり、可変フィルタとしても適用できる。

【0168】

以上のように各実施の形態における、微小な振動子としてカーボンナノチューブを用いた電気機械フィルタにより、高周波回路上での受動部品の小型化を実現し、大静電容量高速通信に向けた、使用帯域の高周波数化、及び端末の小型化に対応した次世代通信装置を実現させることができる。

【産業上の利用可能性】

【0169】

本発明に係る電気機械フィルタは、カーボンナノチューブ、フラーレンなどのように所定の周波数の信号が入力されることで物理変化する微小な部材を第 1 部材に用いることにより、全体を微小にすることができ、微小な振動子を備える電気機械フィルタとして有用である。

【図面の簡単な説明】

【0170】

【図 1】 本発明に係る実施の形態 1 における多層カーボンナノチューブを用いた電気機械フィルタの構成を示す縦断面図

【図 2】 本発明の実施の形態 1 の変形例である電気機械フィルタの縦断面図

【図 3】 本発明に係る実施の形態 1 における電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明する断面図

【図 4】 本発明に係る実施の形態 1 における電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明する断面図

【図 5】 本発明に係る実施の形態 2 における電気機械フィルタの構成を示す斜視図

【図 6】 本発明に係る実施の形態 2 における電気機械フィルタの製造工程を段階的に説明するための断面図

【図 7】 図 5 に示す電気機械フィルタの変形例を示す斜視図

【図 8】 (a) は、本発明に係る電気機械フィルタにおける振動子の振動検出方法の一例を説明するための図、(b) は (a) において、振動子から検出されたトンネル電流を示す図

【図 9】 本発明に係る実施の形態 2 における電気機械フィルタにおける振動子として用いられるカーボンナノチューブの振動検出を説明するための斜視図

【図 10】 本発明に係る実施の形態 3 における電気機械フィルタの構成を示す斜視図

【図 11】 本発明に係る実施の形態 3 における電気機械フィルタの変形例を示す平面図

【図 12】 本発明の実施の形態 4 における電気機械フィルタの構成を示す斜視図

【図 13】 円筒型の振動子の高さと固有振動数の関係を示す図

【図 14】 探針の振幅と、振動子の共振周波数との関係を示す図

【符号の説明】

【0171】

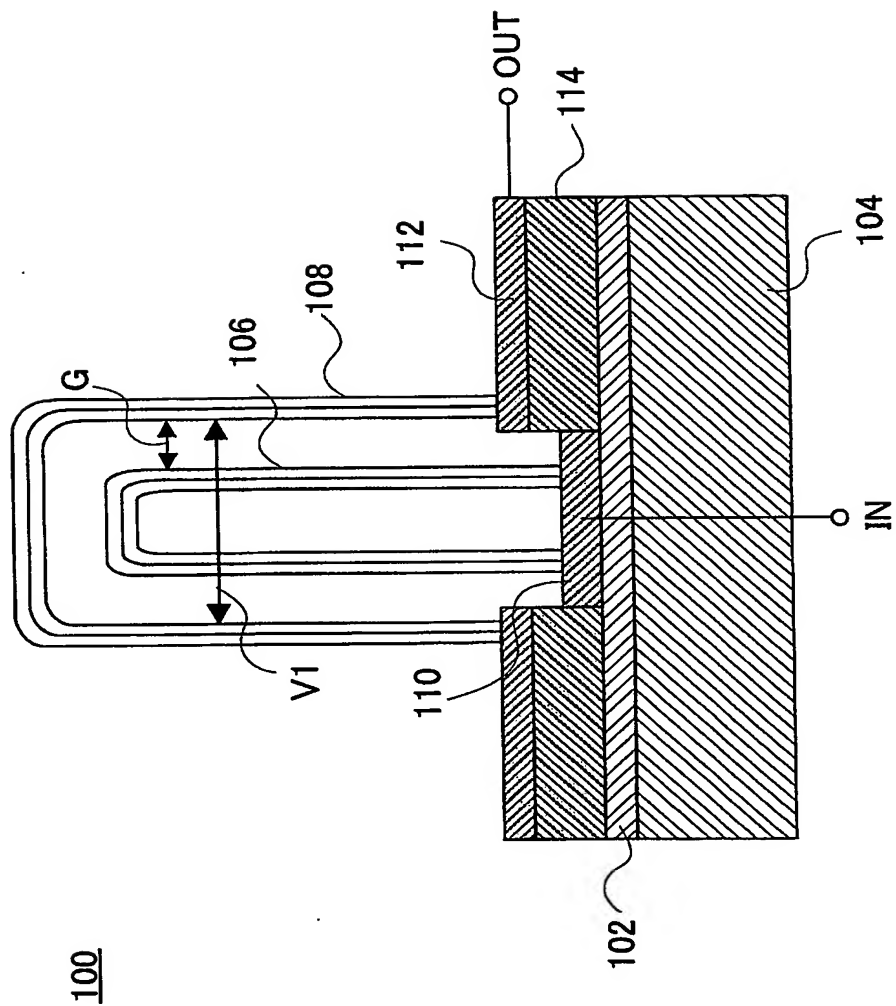
100、100 a、100 b、300、300 a、300 b、600、600 a 電気機械フィルタ

106、614 内殻

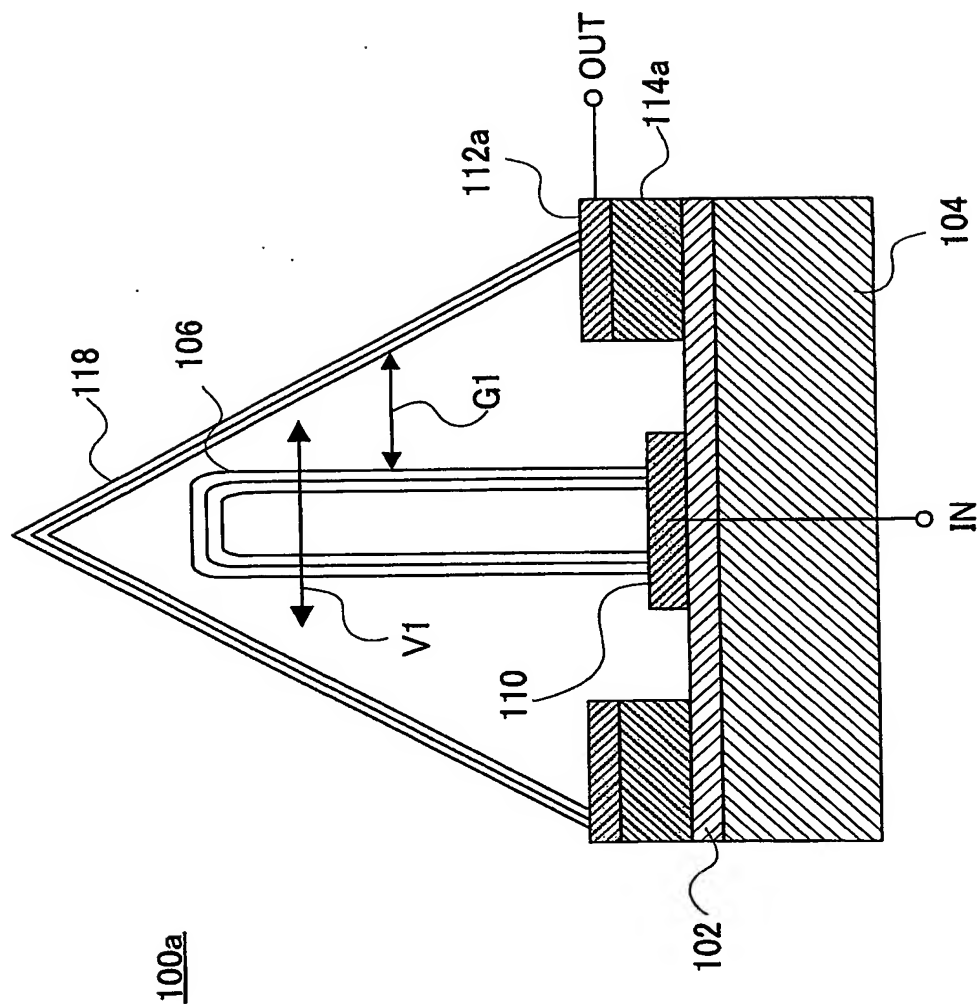
108、118、616 外殻

1 1 0、3 1 0、6 0 8 信号入力側電極部
1 1 2、1 1 2 a、3 1 4、6 1 0 信号出力側電極部
3 1 2 電極部
3 1 6、3 1 6 a、6 1 2 振動子
5 0 2 探針
5 0 4 トンネル電流

【書類名】 図面
【図 1】

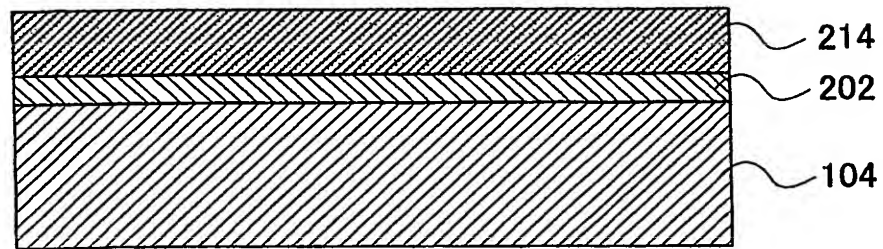


【図 2】

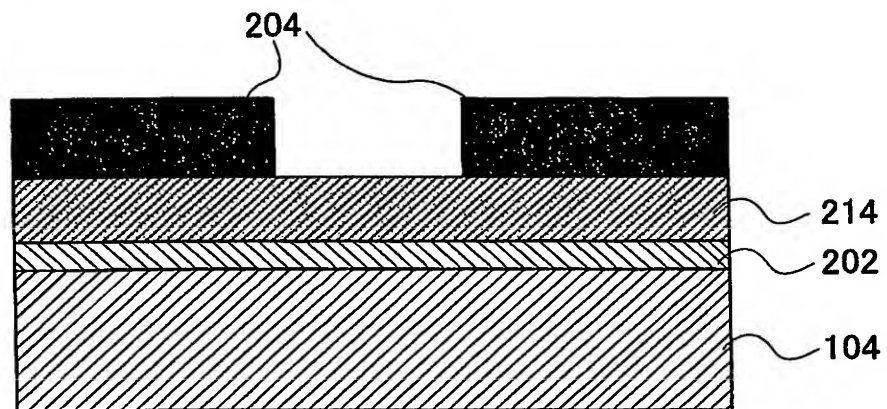


【図 3】

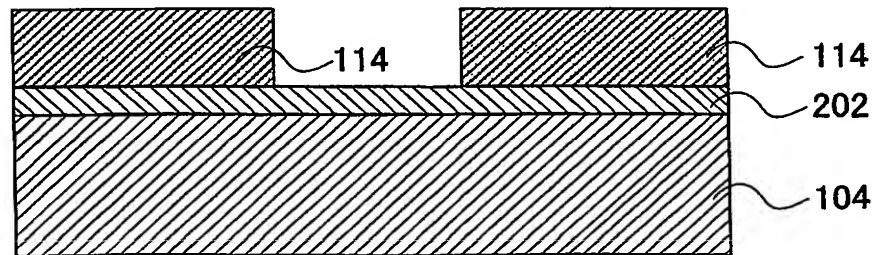
(a)



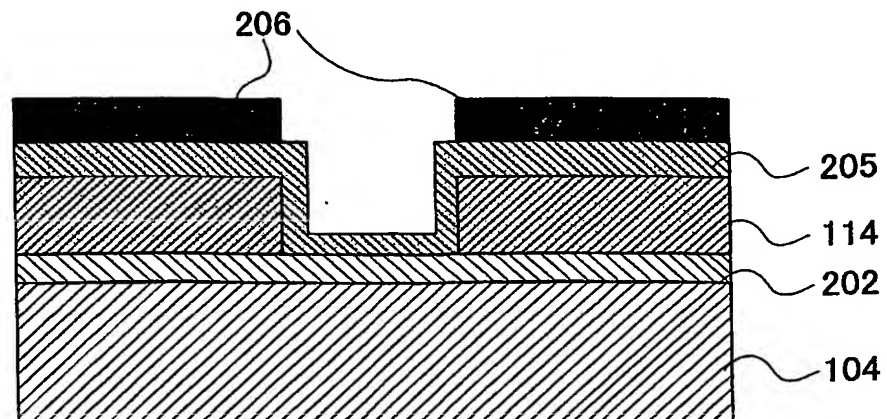
(b)



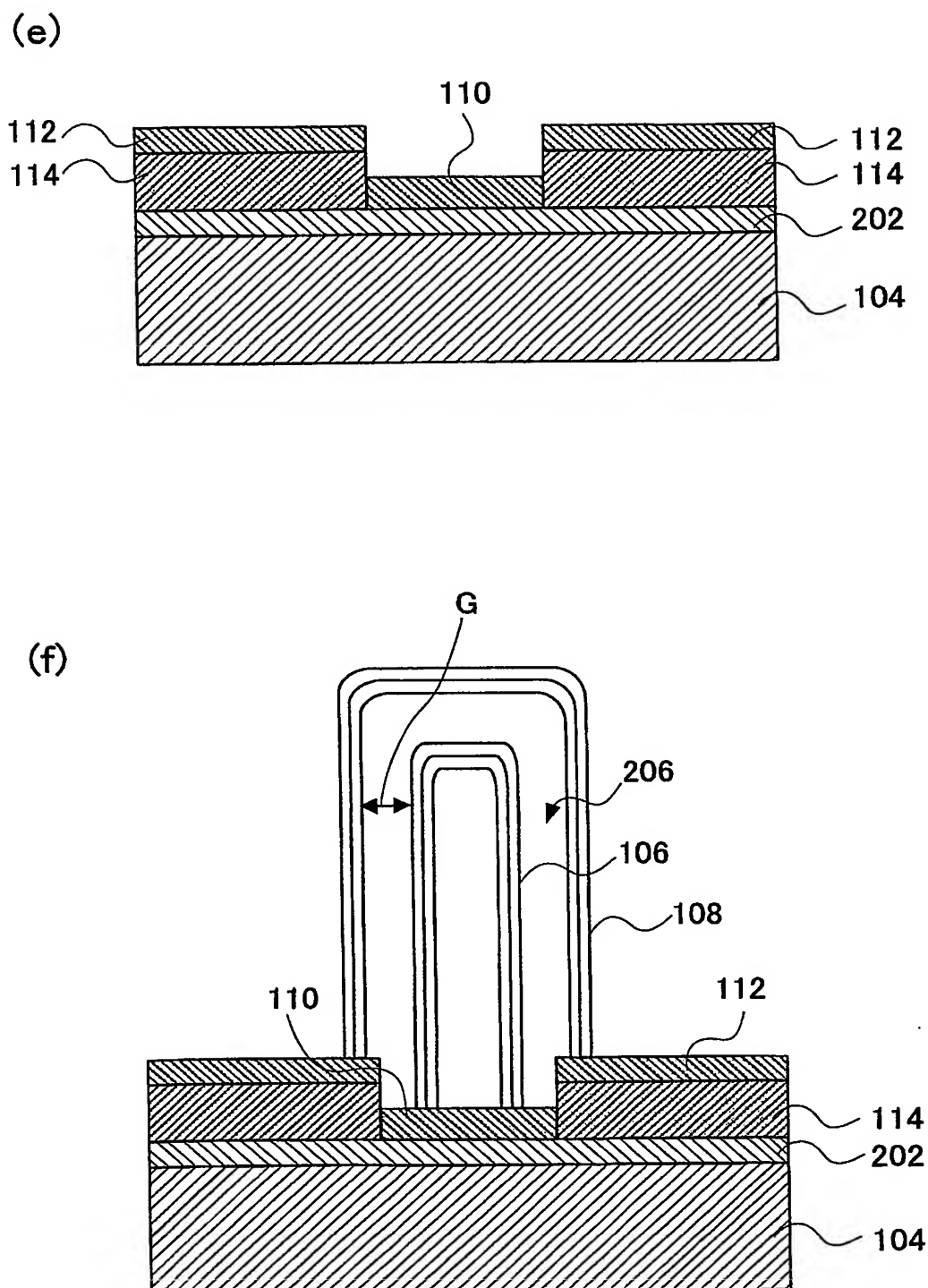
(c)



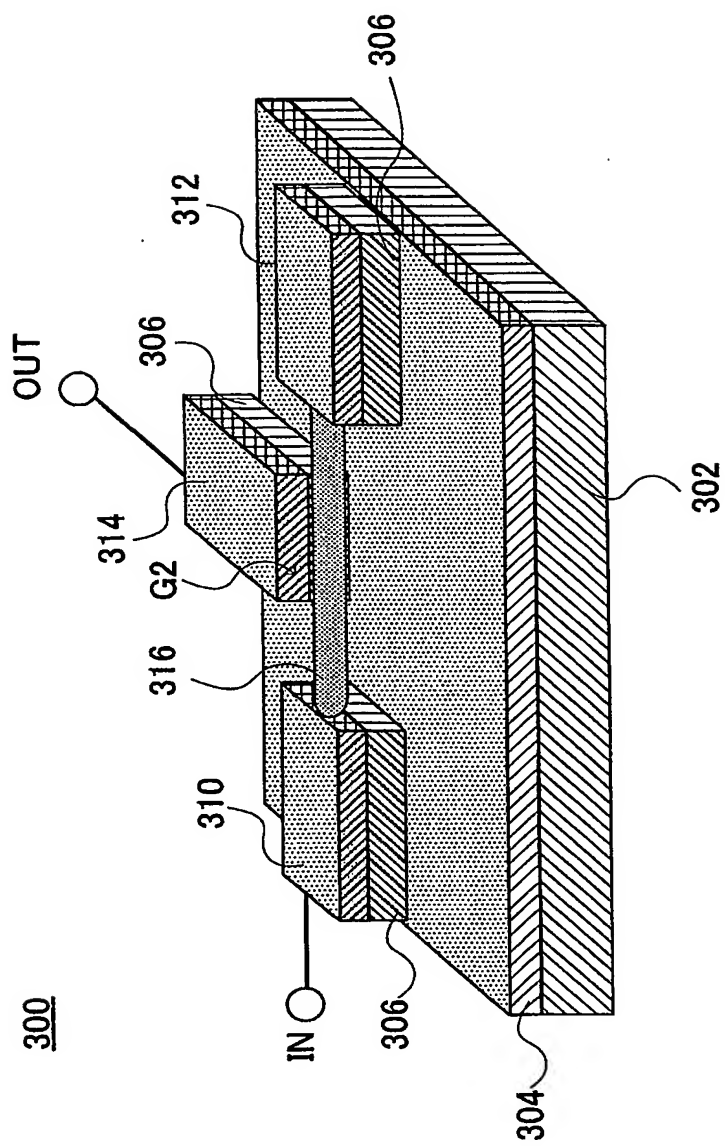
(d)



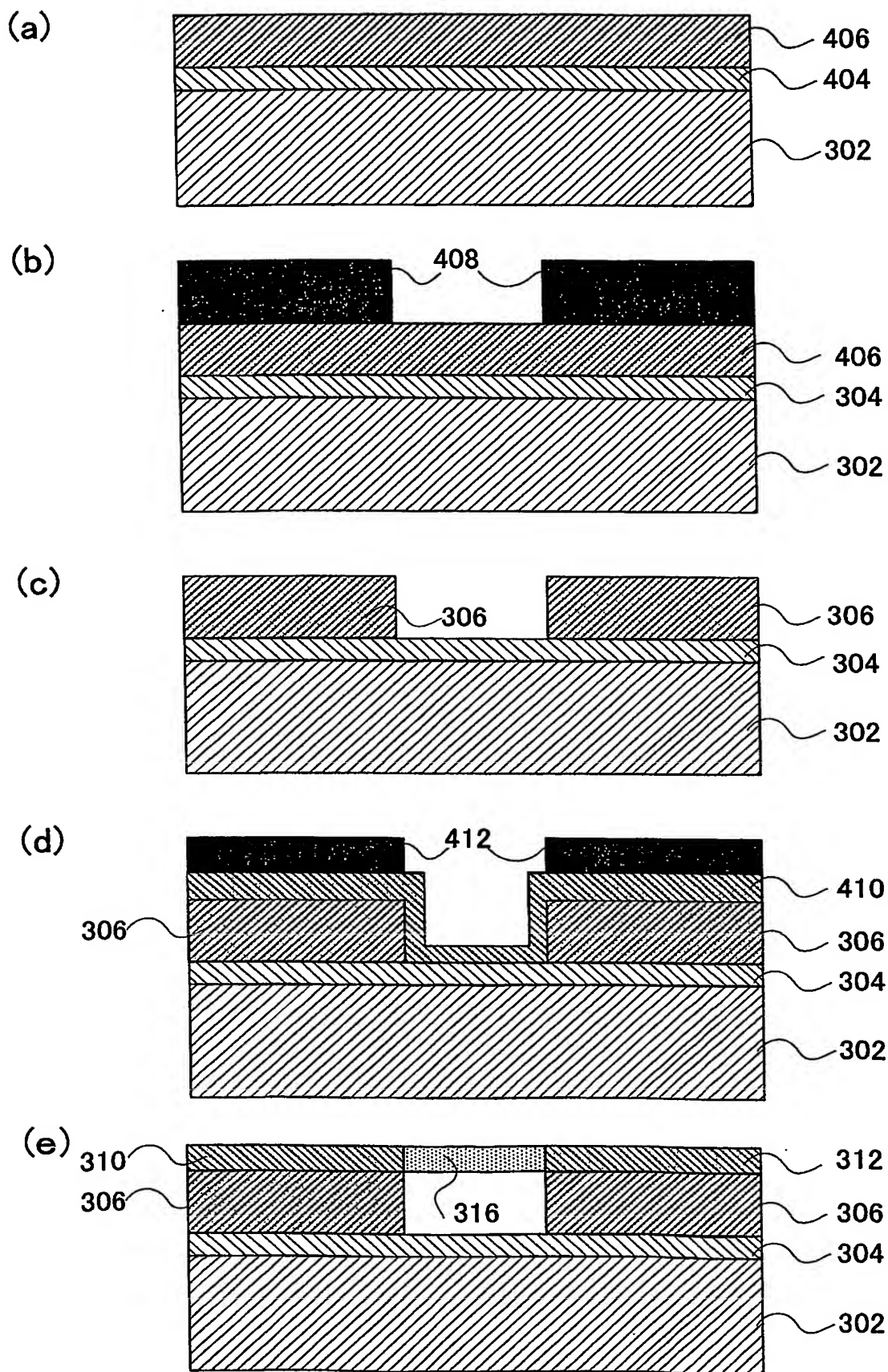
【図 4】



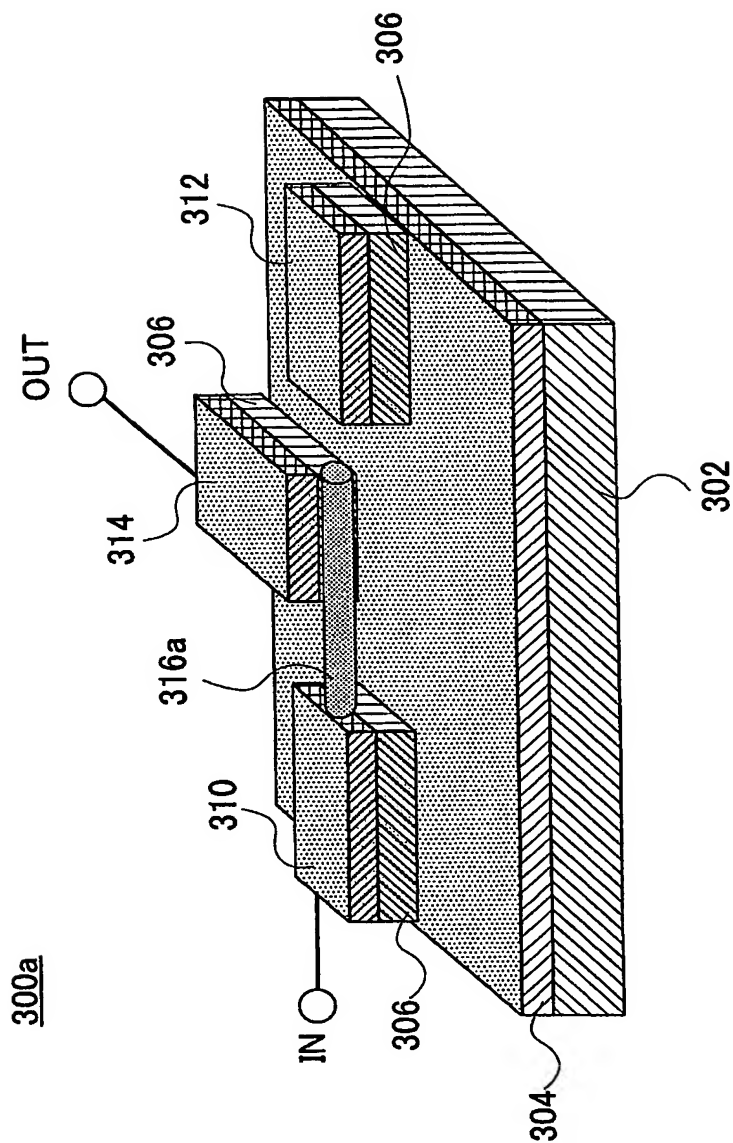
【図 5】



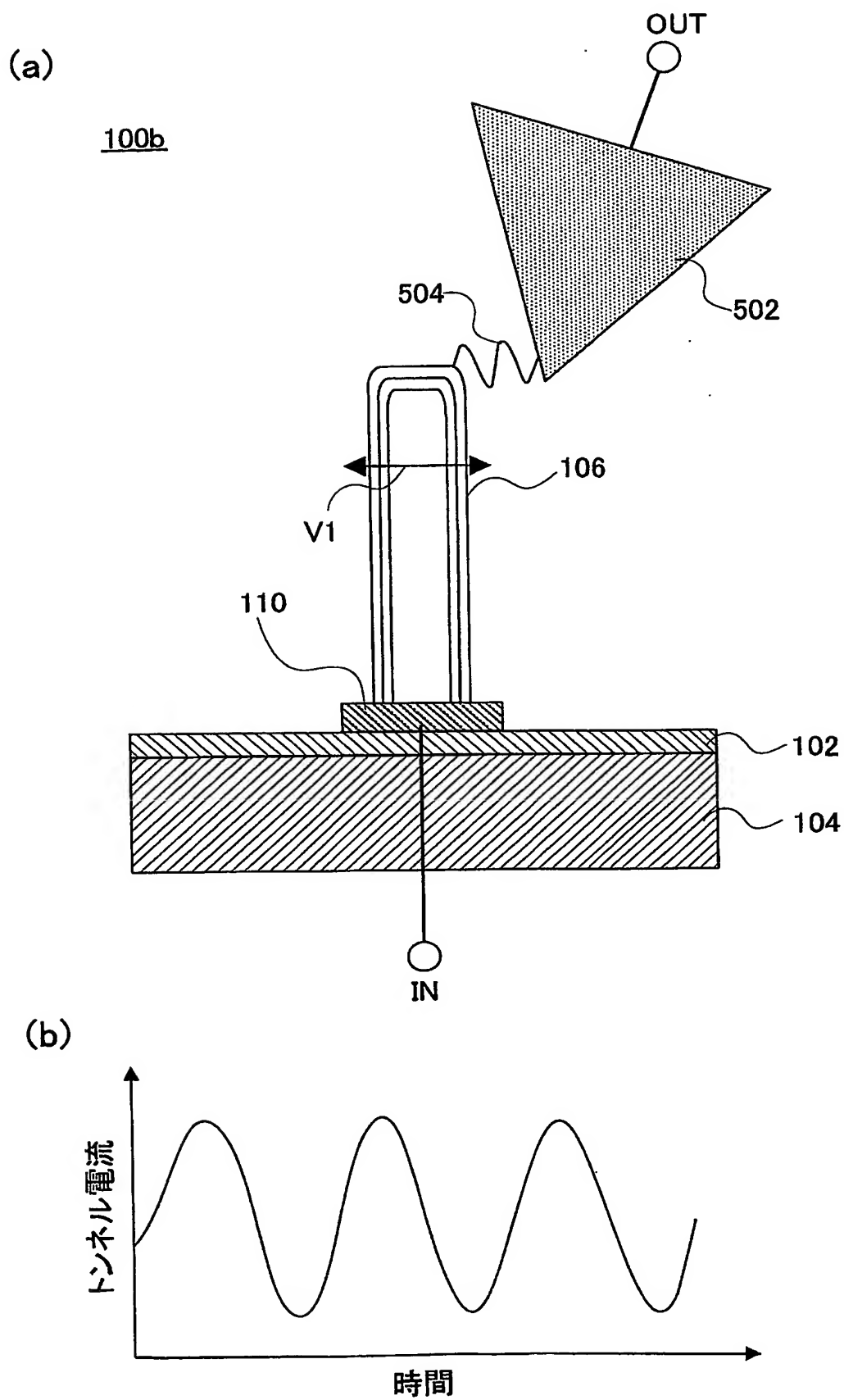
【図 6】



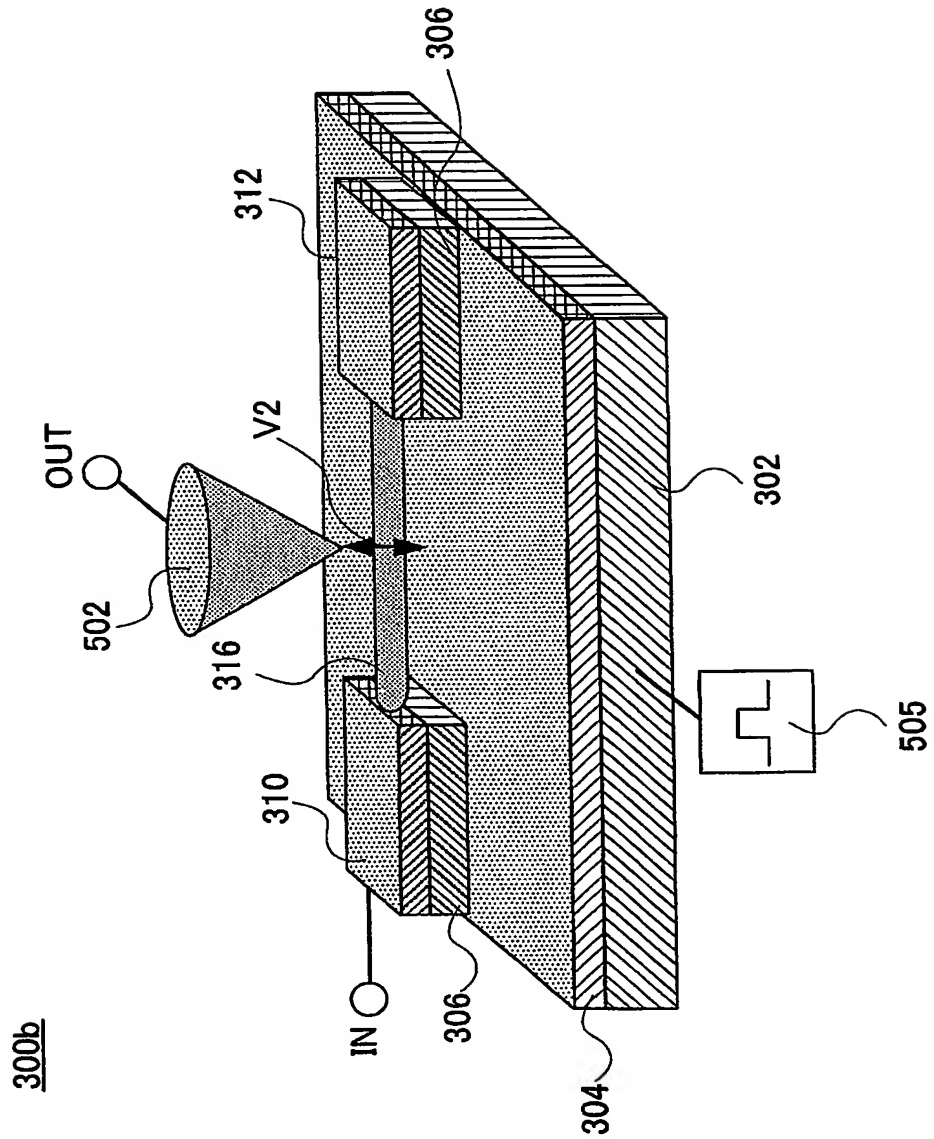
【図 7】



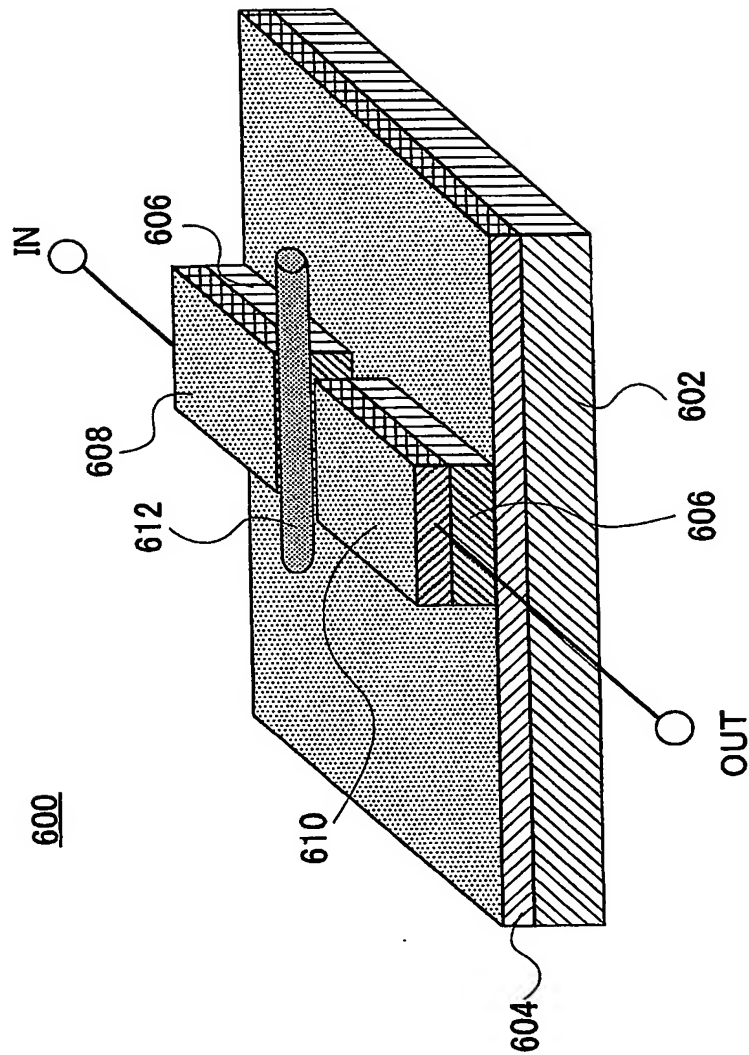
【図 8】



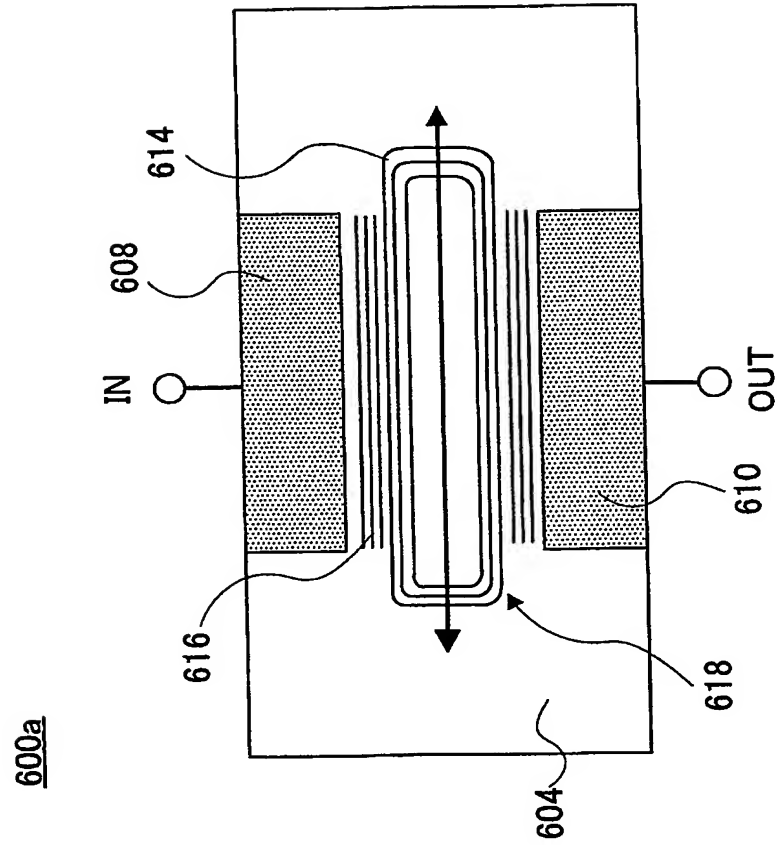
【図 9】



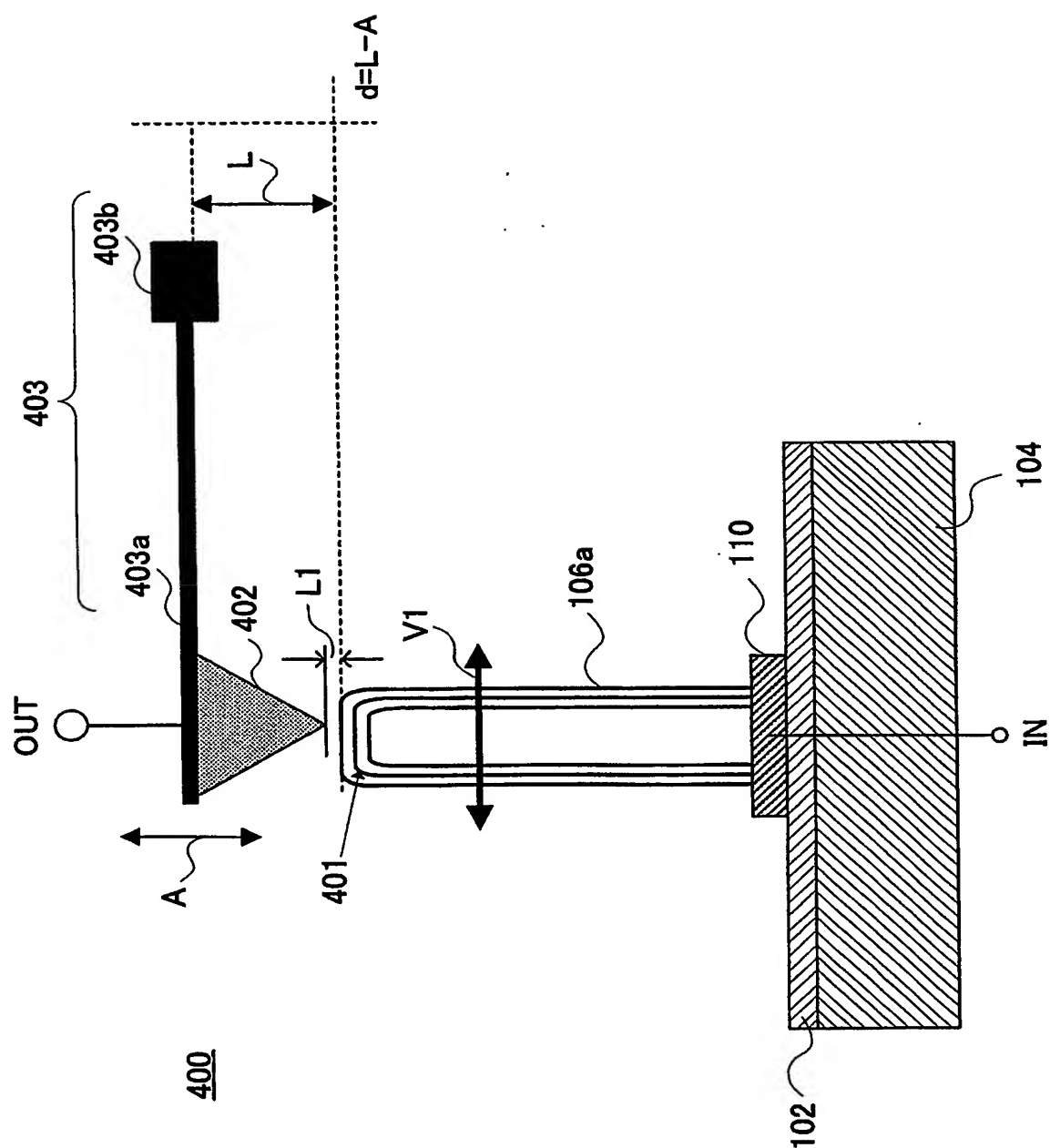
【図 10】



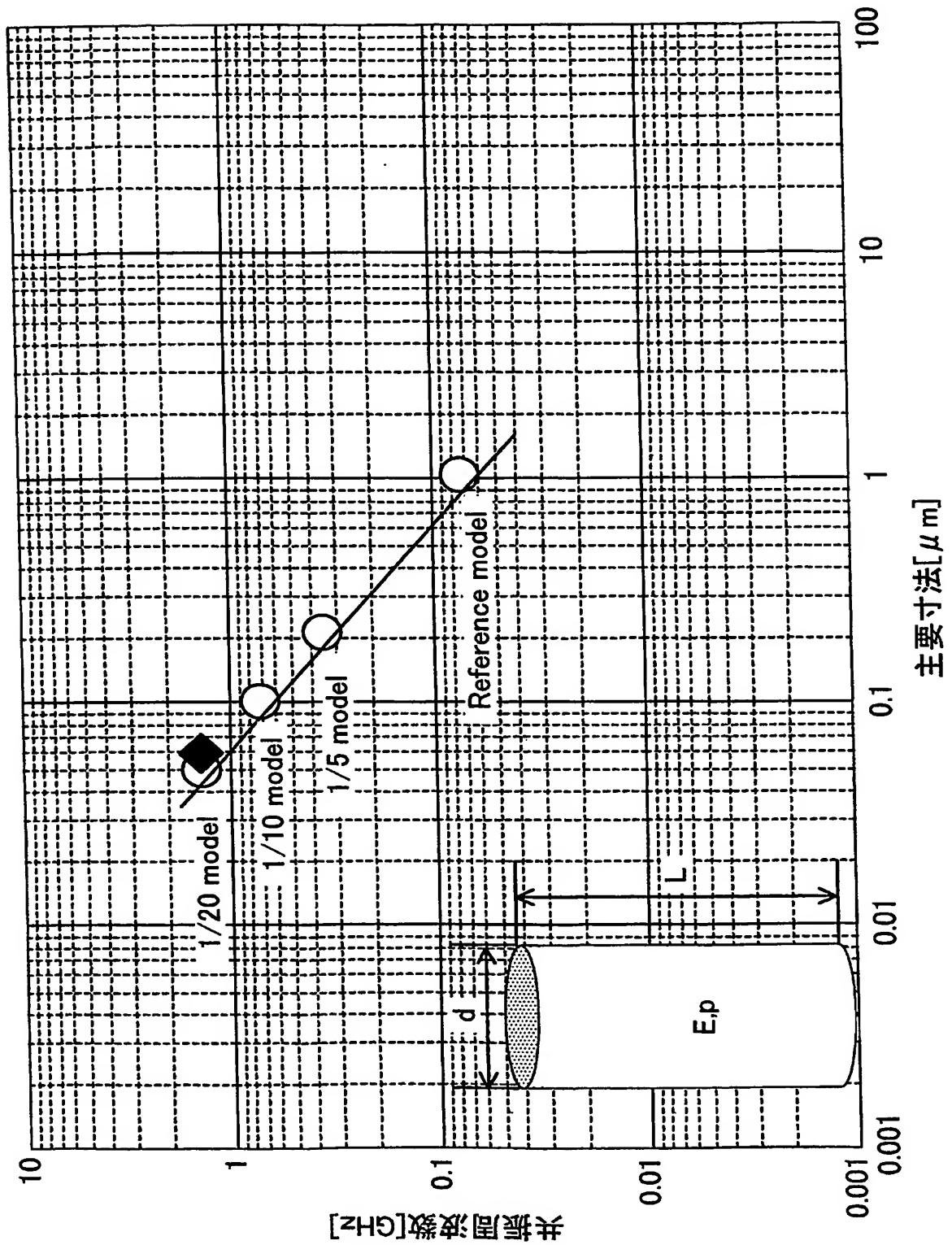
【図 11】



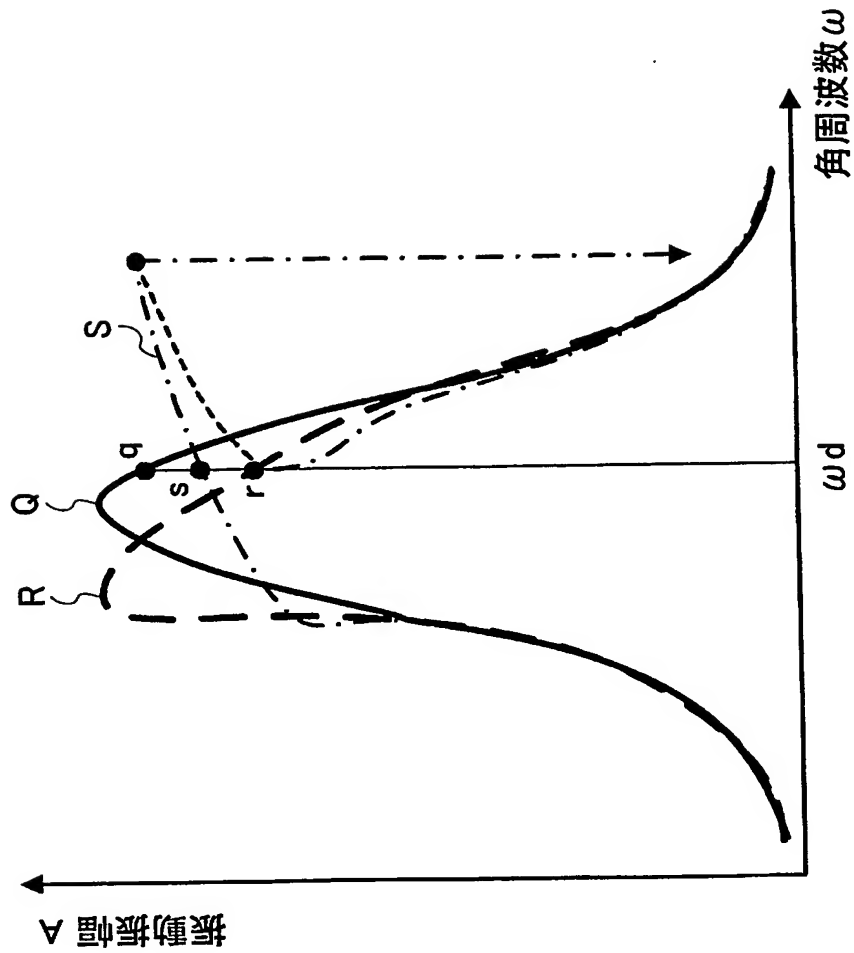
【図 12】



【図 13】



【図 14】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 導電性に優れたカーボンナノチューブなどの微小の振動子を用いることで全体を微小にすることができるとともに、所定の周波数の信号のみを選択することができること。

【解決手段】 信号が入力されることにより物理変化するカーボンナノチューブからなる内殻 106 と、内殻 106 から微小ギャップ G 空けて、内殻 106 に被さるように配置されたカーボンナノチューブからなる外殻 108 とを有する電気機械フィルタである。接続された信号入力側電極部 110 から内殻 106 に所定の周波数の信号が入力されたときにのみ、外殻 108 は内殻 106 の振動を検出し、接続された信号出力側電極部 112 を介して出力する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 1 4 1 6 4 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社